

Capítulo III

Análisis observacional de las lluvias en la Cuenca de México

3.1 Ciclo interanual de las lluvias

Sobre la Cuenca de México, el clima exhibe un comportamiento del tipo monzónico, con una temporada de lluvias de verano bien definida (mayo-octubre), y un invierno (noviembre-abril) en el que sólo se presentan lluvias esporádicas relacionadas con el paso de frentes fríos o *nortes* (Vázquez, 2000). Durante el verano (Fig. 18), las precipitaciones contribuyen a casi toda la lluvia anual, que en el Valle de México son de 400 mm/año en la parte noreste y casi 1000 mm/año en la parte oeste y suroeste.

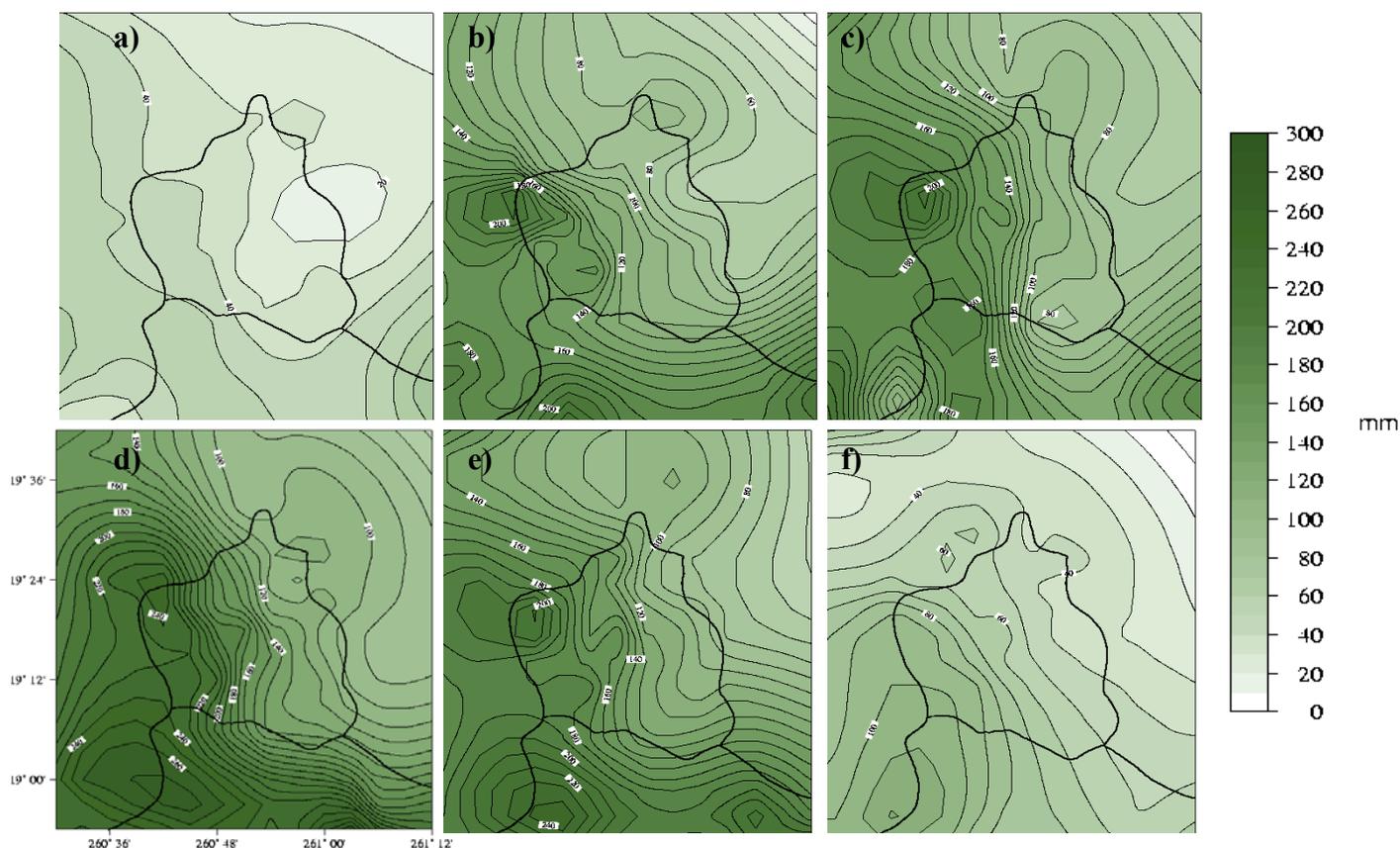


Fig. 18 Climatología de la precipitación en a) mayo, b) junio, c) julio, d) agosto, e) septiembre y f) octubre en la Cuenca de México con datos de la DGCOH. Periodo (1993-2002).

La variabilidad de estos patrones de un año a otro resulta en cambios de hasta +/- 120 mm en el valle de México. Por ejemplo, junio de 2003 resultó ser uno de los más lluviosos en los últimos 30 años, registrándose casi 260 mm, es decir, poco más del 50% arriba de su media. De igual forma, existe gran variabilidad en cuanto al inicio de las lluvias, pudiendo iniciar tan tarde como finales de junio o principios de julio, como sucedió en 1997.

3.1.1 Modos de variabilidad en precipitación (EOFs)

Una de las formas de analizar la variabilidad de patrones espaciales de variables meteorológicas es mediante el uso de Funciones Empíricas Ortogonales (EOF, por sus siglas en inglés). Esta técnica permite determinar los modos o formas más frecuentes de comportamiento de las anomalías de la variable que explican la mayor cantidad de varianza, es decir, el patrón o comportamiento que aparece con más frecuencia. La aplicación de EOFs ha sido utilizada con frecuencia en estudios climáticos y meteorológicos con buenos resultados (Preisendorfer et al., 1983).

Para el presente análisis, se sigue la estrategia de utilizar arreglos regulares de los reportes de lluvia observados sobre el Distrito Federal y las salidas del modelo MM5 para un periodo de tres años (2000-2002). Los EOFs resultantes de las observaciones en estación son interpolados para su graficación y comparados con los EOFs respectivos del MM5 de la malla de menor resolución. La comparación de patrones de EOFs es posible debido al número y distribución de estaciones de la red de observaciones pluviométricas en el Valle de México, que resulta en una resolución espacial comparable a la resolución máxima utilizada con MM5.

Al analizar los EOFs de la parte observada, el primer modo (Fig. 19a) indica claramente que las mayores variaciones en precipitación diaria ocurren en la zona poniente, donde climatológicamente llueve con más intensidad y cantidad. Este primer EOF resulta ser el dominante al explicar casi un 50% de la variación de las lluvias de verano. Sin embargo, el segundo modo sugiere la existencia de un dipolo, es decir, cuando este modo es excitado tiende a llover más en el sur que en el norte o viceversa. Este segundo EOF explica casi un 10% de la precipitación observada. El tercer EOF también corresponde a un dipolo pero con orientación este – oeste, es decir, lluvias en el poniente pueden estar

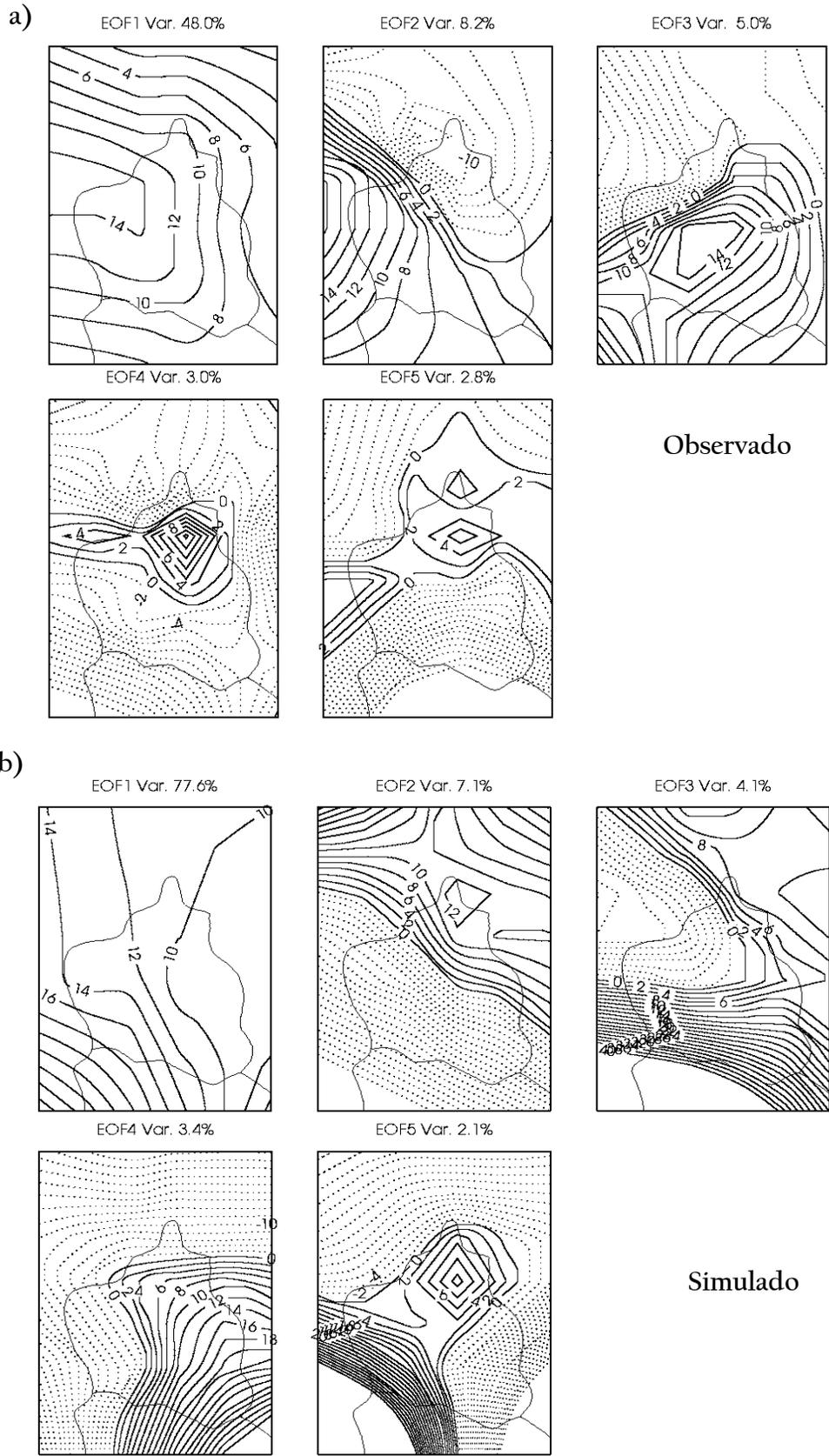


Fig. 19 EOF de precipitación observado (arriba) y simulado (abajo) de mayo a octubre. Periodo 2000-02.

relacionadas con poca o nula lluvia en el oriente. No obstante, a pesar de reflejar una importante característica de las lluvias sobre la Ciudad, este modo sólo explica un 5% de la varianza. Los EOFs o modos restantes corresponden a patrones espaciales de menor escala y explican un porcentaje cada vez menor de la varianza.

Cuando se realiza el mismo análisis para los EOFs de las simulaciones de precipitación del MM5 (Fig. 19b), se encuentra como primera característica que las estructuras espaciales son similares a las observadas. La diferencia entre los EOFs de datos observados y los de MM5 está en la ubicación de los máximos valores. En el primer caso, el máximo del EOF se ubica más al sur que lo observado. Diferencias similares se encuentran entre los restantes EOFs. No obstante, en cada caso se mantiene tanto la estructura espacial como la observada. Las diferencias en la ubicación de máximos y mínimos en cada EOF sugiere que los modos excitados por MM5 pueden ser adecuados pero tendrán un error de ubicación de al menos 10 o 20 km. Con ello, la resolución espacial con la que se puede tener confianza en el pronóstico, comienza a ser de la magnitud del error entre EOFs observados y simulados con MM5.

El siguiente elemento a analizar es el correspondiente a los tiempos en que los modos son excitados, tanto en el caso observado como el simulado. Aunque los modos sean parecido, si no son excitados en los días que corresponden, las simulaciones tendrán poca calidad. Mediante el análisis de la amplitud y temporalidad de los coeficientes de los EOF se puede determinar cuándo ocurren eventos con características espaciales como los EOF. Para el caso de los EOF observados se encuentra que es el EOF1 sin duda el que más amplitud alcanza, sin embargo, no es rara la amplificación del EOF2 e incluso del EOF3 (Fig. 20). Un análisis similar para los coeficientes de los EOF del MM5 muestra que en los veranos del 2000 y 2001 existe poca variabilidad en los coeficientes y que su amplitud es menor que en el periodo 2002. La explicación es directa: la asimilación de datos de estaciones de superficie para este año imprime la información de mesoescala adecuada para excitar modos de mesoescala en el modelo. La no asimilación de esta información para pronósticos con altas resoluciones espaciales convierte al MM5 en un “esquema sofisticado de interpolación”. Del resultado del análisis de EOF surge la importancia que tiene la condición inicial tiene para el pronóstico del tiempo a corto plazo.

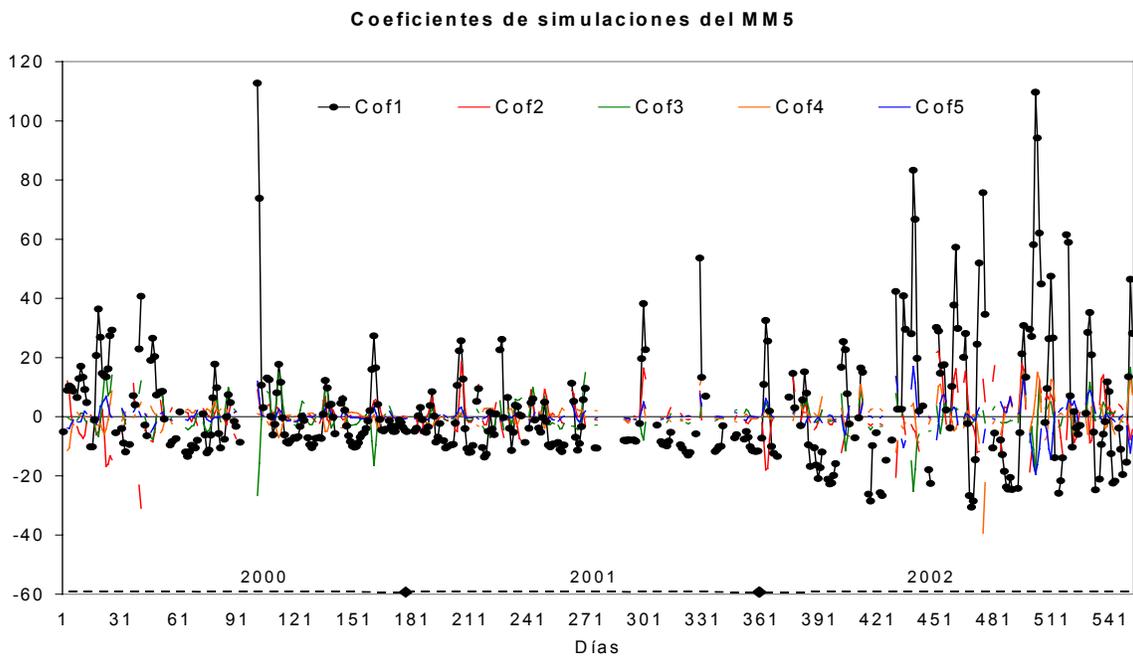
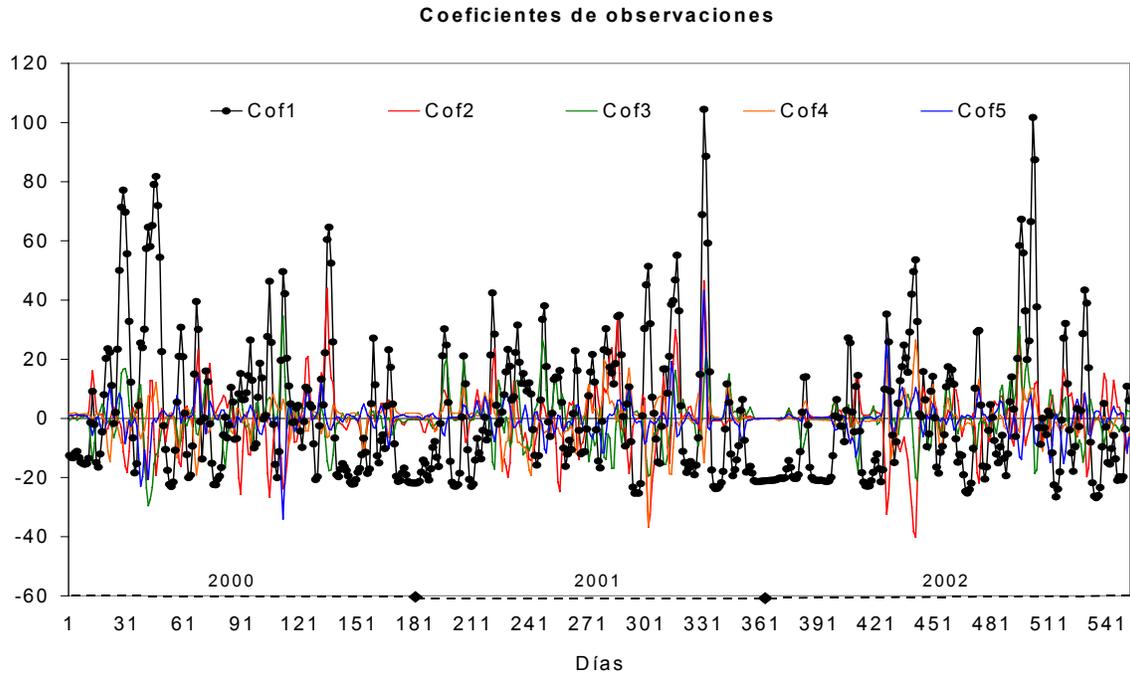


Fig. 20 Coeficientes de precipitación observado (arriba) y simulado (abajo) de mayo a octubre. Periodo 2000-02.

Finalmente, resulta interesante analizar si los EOFs en el modelo son excitados los mismos días que son observados. Basta comparar los días de máxima amplitud de los coeficientes del modelo y compararlos con los observados para analizar la similitud de los patrones de lluvia en casos particulares (ver cap. 4).

Parte de la diferencia puede estar en la simulación de los patrones sinópticos que, forzados por la orografía y el uso de suelo, resultan en tiempo meteorológico de mesoescala. Por ejemplo, un patrón compuesto del campo de vientos a 700 mb sobre el altiplano mexicano en los días en que el EOF1 es excitado corresponde a un patrón bien definido de una Onda del Este sobre el sureste del país (Fig. 21).

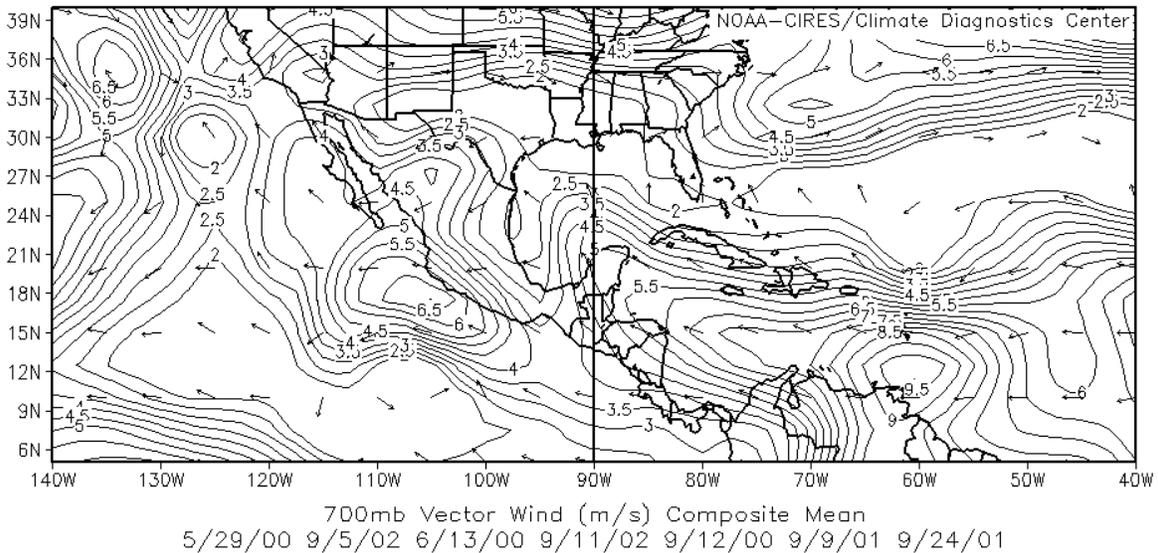


Fig. 21 Patrón compuesto del viento a 700 mb con las fechas en las que el coeficiente 1 es el dominante.

3.1.2 Ciclo diario de las lluvias

Durante el verano, la interacción de los vientos predominantes del este con la orografía, determinan en gran medida las características espaciales de la precipitación. Como primera de ellas, se tiene la distribución de la lluvia que ocurre sobre el Distrito Federal (Fig. 22). Para la zona sur, las lluvias entre la 1 y 5 Hora Local (HL) son más frecuentes que en otros sitios. Además, el máximo de ocurrencia de precipitación se presenta a las 19 HL, tanto para el sur como para el centro de la Ciudad. Sin embargo, en la zona norte, la ocurrencia de la lluvia tiende a ser 1 hora más temprano.

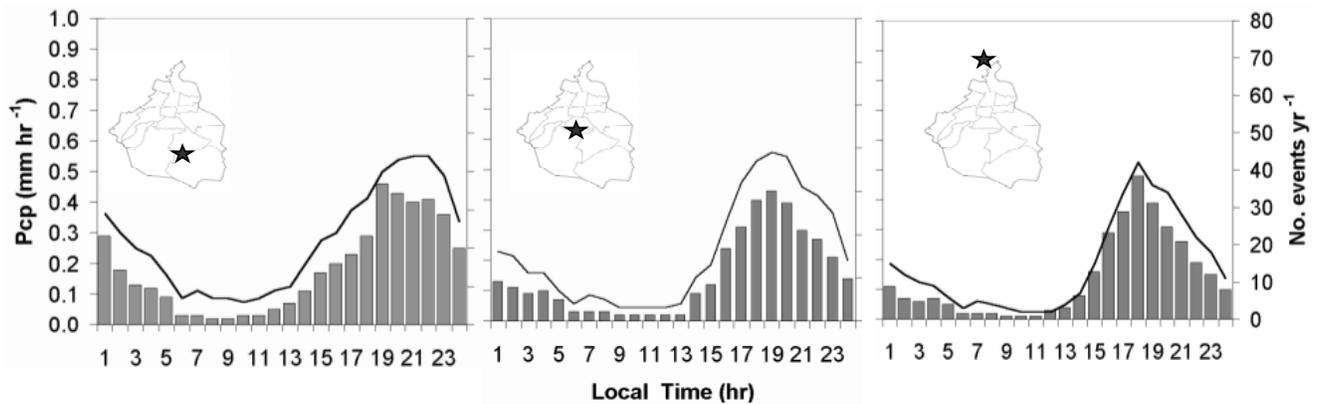


Fig. 22 Distribución media diaria de precipitación observado y hora de ocurrencia para las estaciones Caseta Forestal (izq), Xotepingo (centro) y Santa Catarina (der.) en el periodo 2000-02.

La precipitación en la Ciudad de México muestra un ciclo diurno bien definido. Es entre las 15 y 22 HL cuando ocurren con más frecuencia lluvias intensas y las tormentas severas o *aguaceros* (> 20 mm/hr). Lo anterior está relacionado con la inestabilidad atmosférica, pues conforme se pasan las horas del día, el contraste entre el calor superficial y la humedad en el ambiente son parte del proceso de convección que da origen a las tormentas. Algunas lluvias ocurren en las primeras horas del día, esto es, entre las 5 o 6 HL en la zona oeste y suroeste de la Ciudad. Los mecanismos para explicar esta precipitación diurna son poco claros. Entre las 8 y 12 HL, es rara la ocurrencia de lluvias. Sin embargo, justo después de las 12 HL, y al parecer por efecto de circulaciones locales como brisas de valle-montaña y evolución de la estabilidad atmosférica, ocurren algunas lluvias en el sur, extendiéndose al oeste y posteriormente hacia el norte y al este conforme pasa el día (Fig. 23).

Es claro que la distribución de las lluvias, aún en un sitio pequeño como la Ciudad de México, no es uniforme. En la zona sur y poniente del Distrito Federal se registra anualmente casi el doble de precipitación que en el oriente de la Ciudad, esencialmente porque el efecto orográfico intensifica las tormentas. Por esta razón, en la parte oriente eventos de lluvia de más de 15 mm por día resultan poco probables, por lo que se pueden considerar eventos extremos de precipitación. En el poniente de la Ciudad, los eventos de lluvia extrema tienen que ser de más de 30 mm por día (Fig. 24).

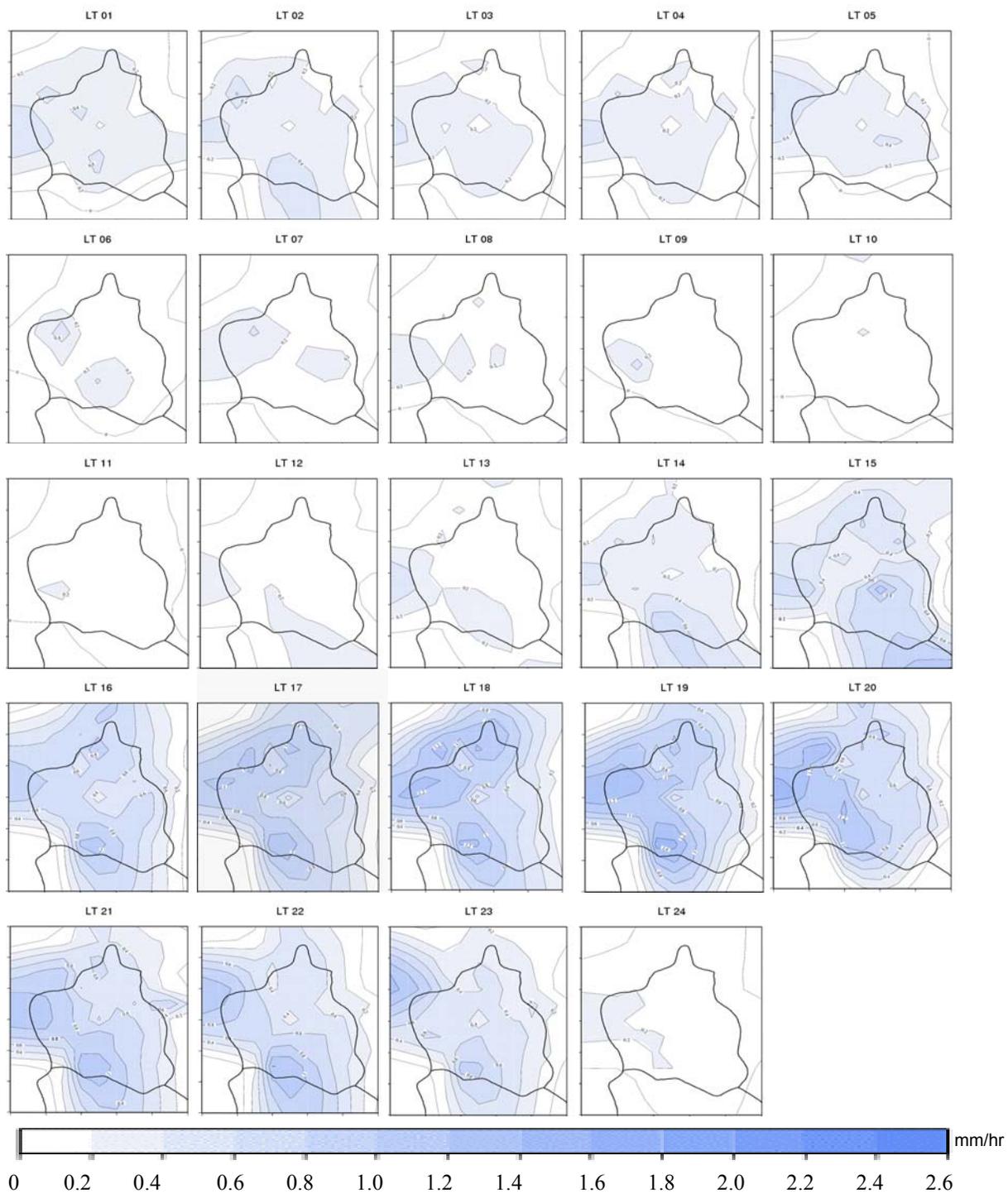


Fig 23 Climatología de la cantidad promedio (mm) de precipitación horaria en el periodo mayo-octubre en la Cuenca de México con datos de la DGCOH. Periodo (1993-2002).

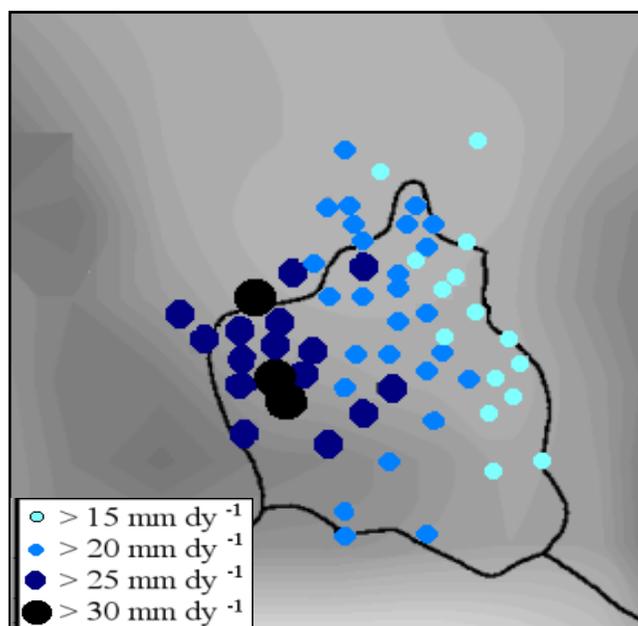


Fig. 24 Valores de precipitación que determinan un evento extremo (Tomada de Magaña et al, 2001).

Con base en registros para el periodo 1993-2002, se puede decir que en promedio, cada verano ocurren alrededor de 30 eventos extremos de lluvia en la Ciudad (Tabla 1). Sin embargo, aún en años considerados como secos (por ejemplo 1997), los eventos de lluvias intensos ocurren, por lo que la predicción de este tipo de eventos resulta relevante en actividades relacionadas con la protección civil. Por ello, cada vez es más necesario que se cuente con la generación de información de pronóstico que pueda ser utilizada con fines de prevención en la Ciudad de México pues, si se considera que muchos eventos de precipitación extrema son puntuales, en un verano pueden ocurrir más de veinte.

Tabla 1 Número de eventos de precipitación extrema en 5 estaciones sobre le Distrito Federal

Estacion/Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Promedio
03- Lindavista (N)	10	5	8	6	5	5	3	7	5	8	6
22- La Venta (W)	4	8	11	5	5	7	8	8	8	8	7
31- Santa Catarina (E)	5	6	6	2	5	5	4	6	4	3	5
39- Caseta Forestal (S)	12	6	9	2	3	6	6	5	4	7	6
27- Xotepingo (C.)	3	8	6	6	5	5	4	8	5	5	6
Total	34	33	40	21	23	28	25	34	26	31	30